7Б

УДК 004.82+007.52

А.Ю. Бадалов, О.О. Варламов, Р.А. Санду, А.Н. Владимиров, К.Э. Тожа
ООО «МИВАР», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), ФГУП «Научно-исследовательский институт Радио», г. Москва
info@mivar.ru, ovar@mivar.ru, ovar@narod.ru

Активная Миварная интернет-энциклопедия и развитие миварных сетей на основе многомерных бинарных матриц для одновременной эволюционной обработки более 10 000 правил в реальном времени

Предложено создать активную Миварную энциклопедию, т.е. мультипредметную экспертную систему с эволюционным наращиванием знаний и активным решением различных задач в реальном времени на основе миварных логико-вычислительных сетей. Для этого требуется описание в едином формализме десятков и сотен тысяч объектов и правил. Для реализации одновременной обработки более 10 000 правил в реальном времени предложены новые пути развития миварных сетей на основе многомерных бинарных матриц.

Введение

В XX веке были разработаны технологии создания экспертных систем по отдельным узконаправленным предметным областям. Это было обусловлено сложностями формализованного описания требуемых предметных областей и тем, что системы логического вывода не могли обрабатывать более 20 объектов. В то же время получили развитие «интеллектуальные пакеты прикладных программ» (ИППП), которые позволяли решать в автоматизированном режиме задачи в разных областях, где требовались вычисления и конструирование алгоритмов решения задач. Отметим, что по существу технологии ИППП сейчас развиваются в сервисно-ориентированных архитектурах. В настоящее время в Интернете развиваются различные формы справочных и обучающих систем. Например, всем известная Википедия или более узконаправленный проект «Вольфрам». Инновационная технология «миварное информационное пространство» позволяет создать универсальную активную интернет-энциклопедию, которая будет содержать факты и сервисы по решению и объяснению всех логических и вычислительных задач. Такая Миварная энциклопедия будет развитием существующих информационных систем. Кроме того, «мивары» позволяют соединить эволюционные базы данных и логико-вычислительную обработку в целях решения различных прикладных задач. Более того, Миварная энциклопедия позволит реализовать совершенно новые формы обучения и самообучения людей.

Российская инновационная фундаментальная технология «миварное информационное пространство» [1] позволяет использовать эволюционные базы данных и знаний (правил) для формирования единого образовательного пространства с целью максимального удовлетворения образовательных потребностей личности. Активная Миварная интернет-энциклопедия будет содержать в себе не только факты, по

аналогии с существующими энциклопедиями, но и активные программы для решения различных логических и вычислительных задач, т.е. технологии ИППП и сервисов. В миварном подходе объединяются в единую технологию и базы данных, и вычислительные задачи, и логические проблемы. Отметим, что миварный подход – это современный подход к созданию не только образовательных программ, но и для разработки интеллектуальных систем и в перспективе создания систем искусственного интеллекта [1].

Цель данной работы – развитие возможностей миварных сетей на основе многомерных бинарных матриц для реализации эволюционной одновременной обработки более 10 000 правил в реальном времени и создание мультипредметной экспертной системы «активная Миварная интернет-энциклопедия».

Построение миварных логико-вычислительных сетей

Прежде всего, рассмотрим проблему построения над базами данных миварных логико-вычислительных сетей. Подчеркнем, что миварное информационное пространство позволяет создать эволюционные «мультимодельные» или «мультипредметные» базы данных и правил без ограничений на объем хранимых данных и с возможностью изменения структуры хранения данных. Это важно для моделирования рассуждений. Например, Д.А. Поспелов писал: «Проблема моделирования человеческих рассуждений стала чрезвычайно актуальной в конце 70-х годов, когда в области искусственного интеллекта появились практически интересные системы... возникла новая отрасль индустрии – производство интеллектуальных систем» [2, с. 124]. В отличие от существующих узкоспециализированных экспертных систем предлагаемая Миварная интернет-энциклопедия, в некотором смысле, будет представлять собой мета-экспертную систему, в которой будут собираться все накопленные знания человечества с возможностью их непосредственного применения. Эту принципиально новую возможность предоставляет миварный подход к реализации логико-вычислительной обработки данных на основе баз знаний, которые называют «базы правил» [1].

Миварные логико-вычислительные сети являются развитием и обобщением продукционного подхода. Как известно, в системе продукций можно представлять самые разнообразные правила, процедуры, формулы или сервисы. У Д.А. Поспелова написано: «приводят немало примеров, когда знания, внешне не имеющие продукционной формы, удается перевести в систему продукций... продукциями являются не только те выражения, которые имеют форму “Если..., то...”, но и многие другие выражения. К ним, по сути, сводятся все каузальные, т.е. причинно-следственные утверждения...» [2, с. 130]. Отметим, что О.П. Кузнецов в [3, с. 282-283] под продукциями понимает множество правил вывода в канонических системах (системах продукций Поста), в которых есть посылки и следствия. Таким образом, с помощью продукций можно описать любые логические зависимости и задачи. Миварный подход развивает это положение далее и включает в виде некоторых «сервисов» и любые вычислительные процедуры [4].

Прототип активной Миварной энциклопедии – УДАВ

В качестве прототипа Миварной энциклопедии рассмотрим программу УДАВ [5-7]. УДАВ – это принципиально новый продукт, основанный на решении фундаментальной научной проблемы по созданию миварного многомерного эволюционного информационного пространства представления и обработки данных [1]. УДАВ (Универсальный

делатель алгоритмов Варламова) предназначен для решения сложных логико-вычислительных задач в реальном времени путем «конструирования алгоритмов» или «поиска маршрута логического вывода» с линейной вычислительной сложностью. Это не простой поиск информации или выполнение жестких алгоритмов, а именно ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ решение задач с построением алгоритмов, активными запросами недостающей информации и поиском решений.

Суть решения: предметная область описывается набором правил или процедур в формате «ЕСЛИ..., ТО...» (продукции). В программе «УДАВ» формируется перечень «объектов-переменных» и перечень «правил-процедур» (это и логические правила, и различные процедуры обработки информации). Существует ограничение: если известны все «входные» объекты, то должны быть выводимы и все «выходные» объекты. Разработаны правила «ВЫБОРА»: «Если..., то..., иначе...» – когда только часть переменных получает значение, а другая часть будет иметь значение «ложь». Формируется набор «правил» (отношений) между объектами предметной области: база данных объектов и база данных правил. Затем системе УДАВ задают исходные данные: известные «входные» объекты и формулируют задачу, т.е. требуемые «выходные» объекты, для которых надо определить алгоритм их получения из входных объектов (сформировать маршрут логического вывода). УДАВ по входным объектам на основе базы данных всех правил конструирует «алгоритм вывода» путем соединения «правил» через «объекты». Теоретические основы метода изложены в [4], практическая реализация программы УДАВ в [5], а более подробную информацию и демо-версии программ можно скачать с сайтов [6], [7]. Перейдем к основным этапам миварной обработки информации.

Основные этапы миварной обработки информации

Выделим три основных этапа:

1) формирование миварной матрицы описания предметной области;
2) работа с матрицей и конструирование алгоритма решения заданной задачи;
3) выполнение всех вычислений по алгоритму и нахождение ответа.

Первый этап – формирование матрицы является по существу этапом синтеза концептуальной модели предметной области и ее формализации в виде продукционных правил с переходом на миварные правила:

«входные объекты – правила/процедуры – выходные объекты».

В настоящее время именно этот этап является наиболее сложным и требует участия человека-специалиста для создания миварной модели предметной области. С точки зрения образования очень важно, что на основе второго этапа УДАВ выполняет «объяснения» для обучаемого, показывает и обосновывает ход решения. Классический продукционный подход обладает слишком большой вычислительной сложностью (с факториальным ростом), что не позволяет применять его для решения реальных задач, где более 20 объектов-переменных (даже с использованием суперкомпьютеров). Преимуществами миварного подхода являются:

– линейная вычислительная сложность и реальное время работы;
– решение логических и вычислительных (и других) задач;
– управление потоком входных данных и оперативная диагностика;
– адаптивное описание и непрерывное решение задач;
– активная работа с запросами или уточнениями входных данных на эволюционной сети правил и объектов (самообучение).

Применение трехмерных бинарных матриц для развития возможностей двудольных миварных логических сетей

Важным ограничением является размерность матрицы миварной сети. При проведении экспериментов на многопроцессорных вычислительных комплексах ФГУП НИИР определено, что превышение размера квадратной матрицы свыше десяти тысяч правил/переменных становится критичным, требует развития и разработки новых решений [4], [7]. Это обусловлено тем, что для реализации метода необходимо пересылать общую матрицу на несколько различных процессоров. В связи с тем, что каждое значение матрицы представляется изначально в символьном виде, объем пересылаемых данных становится критичным при достижении, например, размерности 10 000 правил/переменных.

Предлагается следующее решение. Для реализации миварного метода без использования правил ВЫБОРА требуется хранить в каждой клетке матрицы всего три различных значения:

1) 0 (пусто, т.е. нет значения);
2) х (входная переменная для правила) и
3) y (выходная переменная для правила).

V1	1	2	3	4	5	...	n-2	n-1	n	n+1
1	1	1	1							
2			1					1	1	
...						...				
m		1		1	1					
m+1	**1**	**1**	**1**							

V2	1	2	3	4	5	...	n-2	n-1	n	n+1
1								1	1	
2				1	1					
...						...				
m							1			
m+1							**1**			

Рисунок 1 – Представление миварной сети двумя бинарными матрицами

При этом анализ возможности запуска правила отделен по этапам от определения выводимых переменных, после «запуска правила». Следовательно, для этих двух действий: «поиск запускаемых правил» и «означивание выходных переменных» можно использовать различные матрицы. Важно отметить, что использование разных матриц позволит нам перейти к многомерным бинарным матрицам. Обработка и пересылка бинарных фрагментов матриц занимают значительно меньшие объемы и повышают возможности применения миварных логических сетей для матриц с размерностью значительно более 10 тысяч правил/переменных. Таким образом, матрица V на рис. 1 будет представлена в виде двух матриц V1 и V2, показанных на рис. 1. В матрице V1 все x и z заменяются единицами, а остальные клетки заполняются нулями. Во второй матрице V2 наоборот все y и w заменяются единицами, а остальные клетки заполняются нулями. Исходная матрица представляется в виде двух взаимодополняющих матриц с бинарными значениями 0 или 1. Для работы метода все

выполняется аналогично, но при анализе запускаемых правил используется первая матрица, а при определении признака выводимости переменных – вторая матрица, хотя по итогам работы сам признак выводимости переменной должен быть проставлен в первой матрице в нижней служебной строке.

Фактически, осуществлен переход к трехмерной бинарной матрице {X, Y, Z}, где по осям X и Y размещаются двумерные бинарные матрицы описания переменных и правил, а номер самой матрицы становится значением по оси Z.

Получаем, что для традиционных двудольных графов миварных логических сетей достаточно двух матриц для представления описания предметной области и выполнения метода определения маршрута логического вывода на адаптивной сети правил. При этом, в первой матрице показаны и фиксируются связи-ссылки только от переменных (объектов) к правилам, а во второй матрице – наоборот показаны только связи-ссылки от правил к переменным (объектам).

Применение многомерных бинарных матриц для развития возможностей многодольных миварных сетей

Перейдем к анализу многодольных миварных сетей и возможностям по их представлению в виде матриц. Необходимо напомнить, что в общем случае миварное информационное пространство [1] предназначено для эволюционного описания любых предметных областей в следующем формализме. В общем случае выделяют: K-мерное подпространство миваров и L-мерное подпространство отношений миваров, которые образуют единое N-мерное миварное пространство, где

$$K+L=N. \tag{1}$$

Формализованное описание N-мерного миварного пространства. Пусть:

$$\exists A=\{a_1,a_2,...,a_n,...,a_N\}, \tag{2}$$

где $n=\overline{1,N}$; A – множество названий осей миварного пространства, N – количество осей (возможно динамическое) миварного пространства. Тогда:

$$\forall a_n \in A \qquad \exists B_n = \{b_{n1}, b_{n2},..., b_{ni_n},..., b_{nI_n}\}, \tag{3}$$

$i_n=\overline{1,I_n}$; B_n – множество миваров оси a_n. Для допустимых значений координат всегда существует определенная точка многомерного миварного пространства:

$$\forall i_1, i_2,..., i_n,..., i_N \;\; \exists < i_1, i_2,..., i_n,..., i_N > \; \in I_1 \times I_2 \times ... \times I_n \times ... \times I_N\,, \tag{4}$$

где $\mathbf{< i_1, i_2,..., i_n,..., i_N >}$ – координаты N-мерной точки. Существует множество значений точек миварного пространства:

$$\exists C = \{c_{i_1 i_2 ... i_n ... i_N} \mid \qquad i_1=\overline{1,I_1};...;i_n=\overline{1,I_n};...;i_N=\overline{1,I_N}\}\,. \tag{5}$$

Для каждой точки миварного пространства существует единственное значение из множества значений C:

$$\forall < i_1, i_2,..., i_n,..., i_N > \;\; \exists !\, c_{i_1, i_2,..., i_n,..., i_N} \in C\,. \tag{6}$$

Практические реализации миварных сетей

Физика падения тела

x1	x2	h	m	a	Ftr	Vn	Vk	pn	pk	g	tpad	ttek	ytek	Vtek	
x	x	***y***													h = x1-x2
y	x	x													x1 = h + x2
x	***y***	x													x2 = x1 - h
			y	x	x					x					m = F/(g-a)
			x	x	***y***					x					F = m*(g-a)
			x	x	x					***y***					g = (m*a + F)/m
			x	***y***	x					x					a = (m*g - F)/m
x				x		x						x	***y***		ytek = x1 - Vn*ttek - a*ttek*ttek/2
y				x		x						x	x		x1 = ytek + Vn*t + a*ttek*ttek/2
x				x		***y***						x	x		Vk = (x1 - ytek - a*ttek*ttek/2)/ttek
x				***y***		x						x	x		a = 2*(x1 - Vn*ttek - ytek)/ttek*ttek
				x		x						x		***y***	Vtek = Vn + a*ttek
				x		x						***y***		x	ttek = (Vtek - Vn)/a
				x		***y***						x		x	Vn = Vtek - a*ttek
				y		x						x		x	a = (ttek - Vn)/ttek
				x		x	***y***				x				Vk = Vn + a*tpad
				x		x	x				***y***				tpad = (Vk - Vn)/a
				x		***y***	x				x				Vn = Vk - a*tpad
				y		x	x				x				a = (Vk - Vn)/tpad
x		***y***		x		x					x				h = x1 - Vn*tpad - a*tpad*tpad/2
y		x		x		x					x				x1 = h + Vn*tpad + a*tpad*tpad/2
			x			x		***y***							pn = Vn*m
			x				x		***y***						pk = Vk*m
			y			***x***		x							m = pn/Vn
			y				x		x						m = pk/Vk
			x			***y***		x							Vn = pn/m
			x				***y***		x						Vk = pk/m
x1	x2	h	m	a	Ftr	Vn	Vk	pn	pk	g	tpad	ttek	ytek	Vtek	

<u>Переменные:</u>

x1 - начальная координата тела
x2 - конечная координата тела
h - высота падения тела
m - масса тела
a - ускорение падения
Ftr - сила сопротивления воздуха
Vn - начальная скорость
Vk - конечная скорость
pn - начальный импульс падающего тела
pk - импульс тела в момент падения
g - ускорение свободного падения тела
tpad - общее время падения тела с высоты x1 до x2 (h)
ttek - текущее время относительно начала падения
ytek - текущее расстояние от точки начала падения
Vtek - текущая скорость относительно начала падения

Рисунок 2 – Пример миварного описания предметной области «Физика падения тел»

В настоящее время реализовано решение геометрических задач треугольников [5]: даны формулы-зависимости между сторонами, медианами, высотами, углами и т.д. треугольника (теоремы синусов, косинусов, Пифагора и т.п.), формулы получения периметра, площади и т.д. Возможно огромное количество задач: по двум сторонам и углу между ними найти площадь; по высоте и стороне с углом определить другие

стороны, построить медианы и т.п. Не каждый человек решит такие задачи. В программе «УДАВ. Геометрия» сейчас 33 «объекта» и 161 «правило». Создать единую программу решения таких задач до УДАВа было невозможно, т.к. вариантов программ расчета по некоторым объектам любых других будет 33! (примерно 10 в 30 степени). «УДАВ. Геометрия» – это единая программа, которая решает все эти задачи на основе базы «объектов» (стороны, углы, высоты, и т.д.) и базы «правил» (теоремы и правила), т.е. автоматически формирует алгоритм для каждого набора входных и выходных объектов. Это пример решения интеллектуальных вычислительных и логических задач. Демо-версию можно скачать с сайтов [6], [7].

Кроме описания треугольников, на практике в настоящее время осуществляется описание различных предметных областей в виде матриц продукционного типа, которые затем будут преобразованы в многодольные миварные логические сети. Миварное информационное пространство изначально ориентировано на многомерное представление и возможность описания в таком формализме самых различных предметных областей. В «пределе» поставлена цель составить Миварную активную интернет-энциклопедию, в которой будут описаны в указанном формализме все предметные области. Пример описания предметной области «Физика падения тела» приведен на рис. 2. Данное описание составили П.Д. Антонов, Г.С. Сергушин и А.Г. Федяшев

Представление миварных многодольных графов различными комбинациями двудольных графов

Исходя из поставленной цели создания энциклопедии и формализма многомерного информационного пространства, а также многодольных миварных логических сетей целесообразно реализовать метод матричного поиска логического вывода на многомерных матрицах. Так как в многомерном пространстве нет ограничений по количеству измерений, то получаем следующее. Каждый фрагмент предметной области может быть описан в виде многодольного миварного графа, который необходимо адекватно отобразить в матричной форме.

Любой многодольный граф можно представить комбинацией двудольных графов по аналогии с двоичной арифметикой и представлением любых чисел в двоичном коде. В свою очередь каждый двудольный граф может быть представлен двумя бинарными матрицами для сокращения объема хранимых и передаваемых данных. Получаем, что любой многодольный граф может быть представлен некоторым набором бинарных матриц, которые образуют многомерное подпространство бинарных матриц описания некоторой предметной области.

Очень важно напомнить, что миварное многомерное пространство является изначально эволюционным и может сочетать различные описания любых предметных областей, которые в совокупности будут образовывать общую энциклопедию с возможностью каждому пользователю создавать свое многомерное подпространство с определенной адресацией.

Следовательно, в миварном пространстве могут одновременно хранится различные описания одних и тех же предметных областей. Например, для конкретного человека описание может быть представлено в виде матрицы, показанной на рис. 2. А для использования такого описания при решении задач на многопроцессорных вычислительных комплексах будет создаваться и храниться многомерное подпространство бинарных матриц.

В этом нет ничего удивительного, так как и сейчас «компьютеры работают в двоичной арифметике», а для людей потом все представляется в необходимом и наглядном виде. Просто необходимо различать проблемы обработки данных на компьютерах и проблемы представления полученных результатов для пользователей.

Для человека нагляднее будут многодольные миварные логические сети, а для обработки внутри компьютера эти сети будут преобразовываться в подпространство бинарных многомерных матриц. В свою очередь, многомерные матрицы совершенно четко и однозначно «встраиваются» в многомерное эволюционное миварное информационное пространство и мы получаем унифицированный механизм:

1) и хранения данных – по аналогии с базами данных,

2) и логического вывода – по аналогии с продукционным подходом,

3) и вычислительной обработки – по аналогии с обычными процедурами.

Все вместе это и образует миварное информационное пространство унифицированного представления и обработки информации.

Выводы

На основе миварного подхода можно создать универсальную активную Миварную интернет-энциклопедию, которая будет содержать как факты, так и сервисы по решению и объяснению всех логических и вычислительных задач. Это будет играть важную роль для реализации стратегии «образование через всю жизнь». Миварная энциклопедия будет развитием существующих информационных систем, от Википедии до «Вольфрама» и им подобным. Причем, все эти системы смогут использоваться вместе и взаимно дополнять друг друга для достижения общечеловеческих целей развития и обучения.

Для расширения возможностей применения миварного подхода проведен анализ существующих технологий и предложены новые пути развития миварных логических сетей на основе многомерных бинарных матриц для реализации одновременной эволюционной обработки более десяти тысяч правил в реальном времени. Такая обработка основана на быстром матричном методе логико-вычислительной обработки данных в виде продукций и миваров. Этот метод позволяет в едином формализме проводить и логическую обработку – вывод, и выполнять различные вычислительные процедуры с возможностью выработки управляющих воздействий или рекомендаций управленцам-экспертам, что позволило создать новое поколение миварных экспертных систем реального времени. В миварном пространстве могут одновременно храниться различные формы описания: для пользователей – многодольные миварные логические сети в виде графов, а для решения задач на многопроцессорных вычислительных комплексах – многомерные бинарные матрицы в виде миварных информационных подпространств.

Литература

1. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство / Варламов О.О. – М. : Радио и связь, 2002. – 288 с.
2. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов / Поспелов Д.А. – М. : Радио и связь, 1989. – 184 с.
3. Кузнецов О.П. Дискретная математика для инженера / Кузнецов О.П. – [6-е изд., стер.]. – СПб. : Издательство «Лань», 2009. – 400 с.

4. Варламов О.О. Разработка линейного матричного метода определения маршрута логического вывода на адаптивной сети правил / О.О. Варламов // Известия вузов. Электроника. – 2002. – № 6. – С. 43-51.
5. Программный комплекс «УДАВ»: практическая реализация активного обучаемого логического вывода с линейной вычислительной сложностью на основе миварной сети правил / А.Н. Владимиров, О.О. Варламов, А.В. Носов [и др.] // Труды НИИР : сб. ст. – М. : НИИР, 2010. – № 1. – С. 108-116.
6. Веб-сайт «д.т.н. Варламов О.О.» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ovar.narod.ru. 2010.
7. Веб-сайт «МИВАР» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.mivar.ru. 2010.

А.Ю. Бадалов, О.О. Варламов, Р.А. Санду, О.М. Владимиров, К.Е. Тожа

Активна Міварна інтернет-енциклопедія та розвиток міварних мереж на основі багатовимірних бінарних матриць для одночасної еволюційної обробки понад 10 000 правил у реальному часі

У статті запропонований підхід до створення Міварної активної енциклопедії, яка представляє собою мультипредметну експертну систему з еволюційним нарощуванням знань і активним рішенням різних завдань в реальному часі на основі міварних логіко-обчислювальних мереж. Створення єдиної експертної системи для декількох різних предметних областей (мультипредметна ЕС) вимагає опису в єдиному формалізмі десятків і сотень тисяч об’єктів і правил. Запропоновані нові шляхи розвитку міварних мереж на основі багатовимірних бінарних матриць для реалізації одночасної еволюційної обробки більше десяти тисяч правил в реальному часі.

A.Yu. Badalov, O.O. Varlamov, R.A. Sandu, A.N. Vladimirov, K.E. Tozha

Creation of Active Mivar Online Encyclopedia and Development of Mivar Networks Based on Multidimensional Binary Matrices for Simultaneous Evolution of Processing more than 10 000 Rules in Real Time

In this paper, an approach to creation of active Mivar encyclopedia, which is a multi-subject-matter expert system (ES) with the evolutionary capacity of knowledge and active problem solving in real time based on mivar logical-computing networks is developed. Creation of a single expert system for several different domains (multi-subject EC) requires a description in a unified formalism of tens and hundreds of thousands of objects and rules. Mivar develops a network of production and the approach used to create various expert systems, and multivariate evolution applied automated information systems (MEPAIS) support decision-making. To enhance the application of these formalisms are proposed the new ways of development mivar networks based on multi-dimensional binary matrices for the implementation of evolutionary concurrent processing of more than ten thousand rules in real time.

Статья поступила в редакцию 19.07.2010.